

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEUTSCHES
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 37 42 537.4
②2 Anmeldetag: 16. 12. 87
④3 Offenlegungstag: 7. 7. 88

US 4,766,400

DE 3742537 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
19.12.86 US 943799

⑦1 Anmelder:
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP

⑦4 Vertreter:
Leine, S., Dipl.-Ing.; König, N., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,
Pat.-Anwälte, 3000 Hannover

⑦2 Erfinder:
Timothy, R. Fox, Chicago, Ill., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator mit variabler Leitfähigkeit

Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator variabler Leitfähigkeit, mit einem Differential-Leitfähigkeitsverstärker, einer festen Stromquelle, einem Stromfeststellwiderstand, einer Schaltung mit variabler Leitfähigkeit und einer Gegenkopplungsschaltung. Die Gegenkopplungsschaltung ist funktionsmäßig mit dem Differential-Leitfähigkeitsverstärker und dem Stromfeststellwiderstand verbunden, um das Modulationsspannungssignal zu erhalten und zu bewirken, daß die Spannung über den Stromfeststellwiderstand der Spannung des Modulationsspannungssignals folgt, wodurch der Differential-Ausgangsstrom des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers der Spannung an seinem Eingang direkt proportional und dadurch die Linearität des Modulators verbessert ist. Es ist außerdem ein Ausgangstrendverstärker am modulierten Ausgang des Modulators vorgesehen, um die Trennung zwischen dem Eingangsträgersignal und dem modulierten Ausgangssignal zu verbessern.

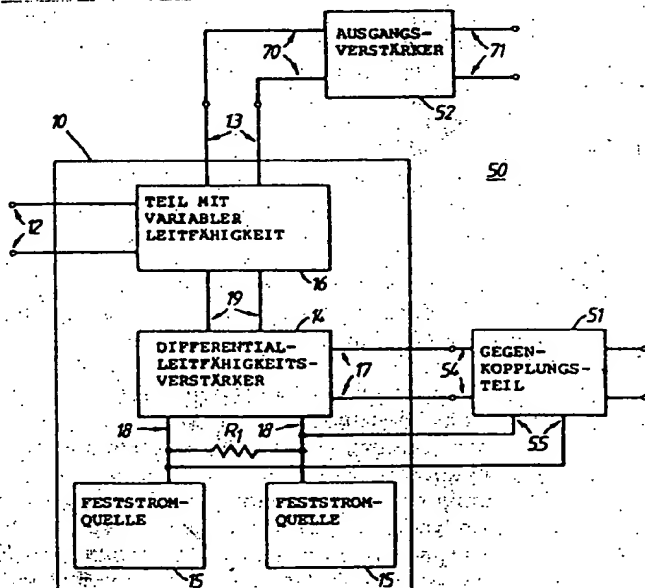


Fig. 5.

DE 3742537 A1

1. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator mit variabler Leitfähigkeit, gekennzeichnet durch,

- einen Differential-Leitfähigkeitsverstärker mit einem Eingang zur Einspeisung eines Eingangsspannungssignales, einem Ausgang für einen Differential-Ausgangsstrom und einem gemeinsamen Ausgang mit zwei Leitungen zur Erzeugung einer Änderung seines Differential-Ausgangsstromes an seinem Ausgang, wenn sich das Spannungssignal an seinem Eingang ändert,
- einer Feststromquelle zur Erzeugung von Treiberströmen an den beiden Leitungen des gemeinsamen Einganges des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers, wobei die Summe der Treiberströme ungefähr gleich der Summe des Ausgangsstromes des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers ist,
- einen Stromfeststellwiderstand zwischen den Leitungen des gemeinsamen Einganges des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers,
- eine Schaltung mit variabler Leitfähigkeit, die an dem Ausgang des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers angeschlossen ist und den Differential-Ausgangsstrom erhält und einen Trägereingang zur Aufnahme eines Trägereingangssignales und einen Ausgang für ein modulierte Ausgangssignal aufweist, die auf den Differential-Ausgangsstrom des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers anspricht und die Verstärkung des Trägereingangssignals variiert und das modulierte Ausgangssignal liefert, und
- eine Gegenkopplungsschaltung mit einem Modulationseingang zur Aufnahme eines Modulationsspannungssignales und mit einem Modulationsausgang, der mit dem Eingang des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers verbunden ist und das Modulationsspannungssignal an den Differential-Leitfähigkeitsverstärker liefert, und einen Gegenkopplungseingang mit zwei Leitungen, die an den Stromfeststellwiderstand angeschlossen sind und bewirken, daß die Spannung über dem Stromfeststellwiderstand der Spannung des Modulationsspannungssignales folgt und dadurch bewirkt, daß der Differential-Ausgangsstrom des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers direkt proportional dem Spannungssignal an seinem Eingang ist.

2. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenkopplungsschaltung aufweist

- einen ersten Operationsverstärker, dessen nicht invertierender Eingang operativ mit einer Klemme des Modulationseinganges verbunden ist, während sein invertierender Eingang operativ mit einem Ende des Stromfeststellwiderstandes verbunden ist, während sein Ausgang operativ mit einer Klemme des Einganges des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers verbunden ist und
- einen zweiten Operationsverstärker, des-

sen nicht invertierender Eingang operativ mit der anderen Klemme des Modulationseinganges verbunden ist, während sein invertierender Eingang operativ mit dem anderen Ende des Stromfeststellwiderstandes verbunden ist, wobei sein Ausgang operativ mit der anderen Klemme des Einganges des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers verbunden ist,

— wobei die Ausgänge der beiden Operationsverstärker den Modulationsausgang der Gegenkopplungsschaltung, die nicht invertierenden Eingänge der beiden Operationsverstärker die Modulationseingänge der Gegenkopplungsschaltung und die invertierenden Eingänge der beiden Operationsverstärker die Gegenkopplungseingänge der Gegenkopplungsschaltung sind.

3. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenkopplungsschaltung die Spannung an einem Ende des Stromfeststellwiderstandes auf Null zwingt und die Spannung an dem anderen Ende des Stromfeststellwiderstandes dahin zwingt, daß sie gleich der Spannung des Modulationsspannungssignales ist.

4. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenkopplungsschaltung die Spannung über den Stromfeststellwiderstand dazu zwingt, direkt proportional der Spannung des Modulationsspannungssignales zu sein.

5. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Ausgangsverstärkermittel, die operativ mit dem Modulationsausgang verbunden sind, um die Trennung zwischen dem Trägereingangssignal und dem modulierten Ausgangssignal durch Verringerung der Impedanz des Ausganges für das modulierte Ausgangssignal zu verbessern.

6. Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsverstärkermittel ein Paar von angepaßten JFETs aufweisen, deren Gatter auf Masse liegen, wobei die Source eines JFETs operativ mit einer Klemme des Ausganges für das modulierte Ausgangssignal verbunden ist, während die Source des anderen JFETs operativ mit der anderen Klemme des Ausganges für das modulierte Ausgangssignal verbunden ist, und daß die Drains des JFETs den Ausgang des Ausgangsverstärkers bilden.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich ganz allgemein auf Gegenaktmodulatoren und ganz speziell auf Vier-Quadranten-Gilbert-Modulatoren mit variabler Leitfähigkeit mit erhöhter Linearität und verbesserter Trägerunterdrückung.

Analog-Modulatoren und Vervielfacher sind allgemein bekannt. Eine spezielle Art einer bekannten Vervielfacherschaltung ist ein Vier-Quadranten-Differential-Paar- oder Gilbert-Vervielfacher mit variabler Leitfähigkeit. Solche Schaltungen dienen für Anwendungsfälle, wo das Ausgangssignal der Schaltung ein lineares Produkt der beiden Eingangsspannungen ist. Typischerweise ist das lineare Produkt durch einen Maßstabsbeiwert einstellbar. Der grundlegende Differential-Paar-Vervielfacher wurde von B. Gilbert in "A Precise Four-

Quadrant Multifier With Subnanosecond Response", in der Zeitschrift "IEEE Journal of Solid State Circuits", SC-3, Nr. 4, Seiten 365-367, Dezember 1968, angegeben. Siehe auch Clarke et al, "Communication Circuits-Analysis and Design" (Addison-Wesley Publishing Co. 1971), Seiten 362-373, hinsichtlich einer Buchabhandlung über den Gilbert-Vervielfacher. Der Vier-Quadranten-Gilbert-Vervielfacher ist ohne Schwierigkeiten als integrierte Schaltung erhältlich. Beispielsweise liefert die Firma Motorola Semiconductors einen Vier-Quadranten-Vervielfacher-Chip unter der Bezeichnung MC1595L.

Ist ein Eingangssignal des oben beschriebenen Vier-Quadranten-Gilbert-Vervielfachers mit variabler Leitfähigkeit ein Trägersignal und das andere Eingangssignal ein brauchbarer Modulator. Ein solcher Modulator ist allgemein als Gegentaktmodulator mit unterdrücktem Träger oder Doppelseitenband-Modulator wie auch als Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator mit variabler Leitfähigkeit bekannt. Praktische Anwendungsfälle für diese Art von Modulatoren sind AM-Senden und Empfang und Erzeugung von Impulsen von moduliertem Hochfrequenz(HF)strom in der Übertragungsschaltung für magnetische Resonanzabbildesysteme (MRI) (auch bekannt als nukleare magnetische Resonanzabbildesysteme NMR). Bei dem MRI-System wird der modulierte HF-Strom dazu verwendet, ein wechselndes magnetisches Feld zur gesteuerten Erregung der Nuclei (Atomkerne) des zu untersuchenden Körpers zu erzeugen.

Ein Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator mit variabler Leitfähigkeit ist in einem Blockschaltbild in Fig. 1 als Element 10 gezeigt. Modulationseingangsspannung $A(t)$ ist das Eingangssignal in dem Modulator 10 am Modulationseingang 11, und Trägereingangssignal $V_d(t)$ ist Eingangssignal an Trägereingang 12. Das sich ergebende modulierte Ausgangssignal $V_{aus}(t)$ erscheint an Ausgang 13 des Modulators 10. In dem Modulator sind enthalten Differential-Leitfähigkeitsverstärker 14, zwei Feststromquellen 15, Stromfeststellwiderstand R_i und Schaltung 16 mit variabler Leitfähigkeit. Differential-Leitfähigkeitsverstärker 14 weist einen Eingang 17 mit zwei Klemmen zur Aufnahme der Modulationseingangsspannung, einen gemeinsamen Eingang 18 zur Aufnahme der Treiberströme von Feststromquellen 15 und einen Ausgang 19 auf. Differential-Leitfähigkeitsverstärker 14 weist zwei aktive Einrichtungen 20, 21 auf, deren Eingangs-(20A, 21A)/Ausgangs-(20B, 21B) und gemeinsame Klemmen (20C, 21C) gemäß Fig. 2 vorgesehen sind. Die aktiven Einrichtungen 20, 21 können beispielsweise bipolare Transistoren sein, bei denen die Eingänge 20A, 21A die Basen der Transistoren, die Ausgänge 20B, 21B die Kollektoren und die Masseklemmen 20C, 21C die Emitter sind. Die aktiven Einrichtungen können auch JFETs beispielsweise sein, wobei die Gatter die Eingänge, die Sources die Ausgänge und die Drains die Massen bilden.

Der Strom an den Eingangsklemmen zu den aktiven Elementen 20, 21 ist vernachlässigbar in bezug zu den Strömen an den Ausgangs- und Masseklemmen. Die Summe der Treiberströme von den Feststromquellen 15 in den gemeinsamen Eingang 18 ist somit gleich der Summe des Ausgangsstromes an Ausgang 19 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14. Eine Änderung der Modulationseingangsspannung an Modulationseingang 11 des Modulators 10 und somit an Eingang 17 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14 bewirkt somit eine Änderung in dem Differentialausgangsstrom des

Verstärkers 14 an seinem Ausgang 19.

Aus den Fig. 1 und 2 ist zu ersehen, daß Stromfeststelldetektor R_i zwischen den beiden Klemmen des gemeinsamen Einganges 18 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14 liegt und eine örtliche Gegenkopplung des Modulators 10 bewirkt. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, kann eine einzige Feststromquelle 22 zusammen mit zwei Stromfeststellwiderständen verwendet werden, die jeweils den halben Widerstand von R_i haben, um die nötigen Treiberströme zu liefern.

Schaltkreis 16 mit variabler Leitfähigkeit erhält das Trägereingangssignal $V_d(t)$ an Trägereingang 12 und außerdem den Differentialausgangsstrom von Ausgang 19 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14. Die Verstärkung zwischen Trägereingang und moduliertem Ausgang der Schaltung 16 mit variabler Leitfähigkeit wird variiert durch die Abhängigkeit der Schaltung 16 mit variabler Leitfähigkeit von dem Differentialausgangsstrom, den sie von dem Differential-Leitfähigkeitsverstärker 14 erhält, so daß somit die Modulation des Trägereingangssignales erfolgt.

Eine spezielle Ausführungsform des Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators 10 mit variabler Leitfähigkeit ist in Fig. 4 gezeigt. Diese schematische Schaltung ist aus der Druckschrift der Firma Motorola Semiconductors "Specifications and Applications Information MC1595L/MC1495L", die den integrierten Schaltkreis des Vier-Quadranten-Vervielfachers der Firma Motorola betrifft. Das vollständig in Fig. 4 gezeigte Schaltbild zeigt einen linearisierten Gilbert-Vervielfacher, jedoch ist die rechte Hälfte des Schaltbildes ein gewöhnlicher Modulator des oben beschriebenen und in den Fig. 1 und 2 erläuterten Modulators. Das schematische Schaltbild verwendet Zeichnungen sich entsprechender Teile der Blöcke des Blockschaltbildes des Modulators 10 in Fig. 1 und der Teile in dem schematischen Schaltbild in Fig. 4. Das schematische Schaltbild enthält außerdem eine Stiftnummerierung P_1 bis P_{14} des integrierten Schaltkreises des Chips der Motorola MC1595L. Darüber hinaus zeigt das schematische Schaltbild gemäß Fig. 4 den Stromfeststellwiderstand R_i hinzugefügt, der bei dem Motorola-Chip selbst nicht vorhanden ist.

Das gewünschte modulierte Ausgangssignal des Modulators ist

$$V_{aus}(t) = A(t) \times \sin \omega_c t, \quad (1)$$

worin die Winkelfrequenz ω_c die Trägerfrequenz und $A(t)$ das Modulationssignal ist. Die tatsächlichen Eingangsspannungen für den Modulator sind die Trägereingangssignalspannung $V_d(t) = V_r \sin \omega_c t$ und eine Modulationseingangsspannung $V_A(t) = A(t)$. Bei diesen Eingangsspannungen würde das ideale Modulatorausgangssignal sein

$$V_{aus} = (V_c \times V_b) / V_m, \quad (2)$$

worin $1/V_m$ eine Vergrößerungsbeiwertkonstante ist, die die Größe der Ausgangsspannung bestimmt.

In der Praxis haben Modulatoren jedoch zwei bedeutende Nachteile. Die Nachteile des nichtidealen Modulators sind eine komplizierte Funktion der beiden Eingangssignale $A = A(t)$ und $B = V_r \sin \omega_c t$ und können unter Verwendung einer Taylorschen Reihenentwicklung wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{aus}} &= k_{00} + k_{01}B + k_{10}A + k_{11}AB \\
 &\quad + k_{21}A^2B + k_{12}AB^2 + \dots \\
 &\quad + k_{13}A^3B + \dots \\
 &\quad + \dots \\
 &= \sum_{ij} k_{ij} A^i B^j.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Im idealen Falle ist $k_{11} = V_r/V_m$ und in allen anderen Fällen gilt $k_{ij} = 0$.

Die bedeutenderen Nachteile bei dem nichtidealen Modulator sind Nichtlinearität und Trägerdurchführung. Ein nichtlineare Beziehung zwischen dem Modulationseingangssignal und dem modulierten Ausgangssignal, insbesondere die Frequenzen in der Nähe der Trägerfrequenz, ist von besonderer Bedeutung. Solche Nichtlinearität in einem AM-Sender führt zu einer Verzerrung des demodulierten Signals in dem Empfänger. In einem MRI-System würde die unerwünschte Nichtlinearität die Erzeugung von nichtpräzisen Impulsen des modulierten HF-Stromes bewirken, was wiederum zu einer nichtpräzisen Erzeugung des notwendigen wechselnden magnetischen Feldes und damit zu einer nicht korrekt gesteuerten Erregung der Atomkerne des untersuchten Körpers führt. Am Ende würde sich ein unscharfes Bild ergeben.

Jeder der Ausdrücke nach der ersten Zeile in Gleichung (3) kann als Nichtlinearität klassifiziert werden. In einem normalen Fall, in dem das Modulationssignal eine sehr viel niedrigere Frequenz ist als die Trägerfrequenz (z. B. ein Tonsignal für Modulation und Hochfrequenz für den Träger), sind die wichtigsten nichtlinearen Ausdrücke von Gleichung (3) diejenigen in der zweiten Zeile der Gleichung. Diese Ausdrücke geben die nichtlineare Beziehung zwischen dem Modulationseingangssignal und dem HF-Ausgangssignal bei Frequenzen in der Nähe der Trägerfrequenz an. Die anderen bedeutsamen nichtlinearen Ausdrücke erscheinen bei Frequenzen weit entfernt von der Trägerfrequenz.

Unerwünschte Trägerdurchführung entsteht in einem Modulator, wo die Ausgangsspannung V_{aus} nicht Null ist, wenn das Modulationseingangssignal $A(t)$ Null ist. Beispielsweise kann bei einem MRI-System mit Trägerdurchführung der Modulator die Hochfrequenz-erregung der Atomkerne nicht vollständig "abschalten". In Gleichung (3) ist der Ausdruck $k_{01}B$ der Ausdruck für die unerwünschte Trägerdurchführung. Typischerweise kann der Beitrag von diesem Ausdruck in der Modulatorausgangsspannung entfernt werden durch Verschiebung der Null des Modulationseingangssignales $A(t)$ in geringfügiger Weise, so daß der Ausdruck k_{01} durch den Ausdruck k_{11} entfernt wird. In einem Modulator gibt es jedoch gewöhnlich andere Mechanismen, beispielsweise Kapazität zwischen dem Trägereingang und dem modulierten Ausgang, der den Modulator überbrückt und nicht vollständig durch die Verschiebung der Null des Modulationseingangssignales entfernt werden kann.

Ein anderer Nachteil von der unerwünschten Trägerdurchführung erscheint, wenn das Modulationssignal eine Funktion der Zeit ist. Wird in einer solchen Situation eine Sinuswelle, die einen Gleichspannungspegel von Null hat, dem Modulationseingang zugeführt, so sollte das modulierte Ausgangssignal auf der Trägerfrequenz Null sein, was dem Modulator die gewünschten Eigenschaften mit einem unterdrückten Träger geben würde. Bei diesen bekannten Modulatoren wird jedoch die

Ausgangsspannung bei Trägerfrequenz gemessen, die eine Funktion der Sinuswellen-Amplitude des Eingangssignales selbst dann ist, wenn der Gleichspannungspegel des Eingangssignales genau auf Null eingestellt ist.

Andere Abweichungen von der idealen Ausgangsspannung eines Modulators beziehen sich auf den Gleichspannungsversatzausdruck k_{00} , den Modulationseingangsspannungsdurchführungsausdruck k_{10} und die Ausdrücke in der dritten Zeile der Gleichung (3). Der Gleichspannungsversatzausdruck k_{00} ist gewöhnlich nicht wichtig, da die Ausgangsschaltung hinter dem Modulator Schaltungen enthalten kann, die nicht auf Gleichspannung ansprechen. Da der Modulationseingangsspannungsdurchführungsausdruck k_{10} weit unter der Trägerfrequenz liegt und die Ausdrücke in der dritten Zeile von Gleichung (3) Ausgangssignale dicht zu den harmonischen der Trägerfrequenz ergeben, können alle diese Ausdrücke durch passende Bandpaßfilter hinter dem Ausgang des Modulators entfernt werden. Solch ein Filter würde nur Frequenzen in der Nähe der Trägerfrequenz durchlassen und sowohl niedrige Frequenzen (Gleichspannung und Modulation) als auch spezielle hohe Frequenzen (harmonische der Trägerfrequenz) unterdrücken.

Selbst bei Verwendung von Bandpaßfiltern in der zuvor beschriebenen Weise und durch die Verwendung von Nullverschiebung des Modulationseingangssignales $A(t)$ werden vorhandene Vier-Quadranten-Gilbert-Modulatoren mit variabler Leitfähigkeit weiterhin durch unerwünschte Linearität und Trägerdurchführung in ihren Ausgangssignalen beeinflusst. Aus der oben genannten Diskussion ergibt sich somit, daß ein großer Bedarf an verbesserten Gegentakmodulatoren besteht, bei denen die Probleme der unerwünschten Nichtlinearität und Trägerdurchführung vermieden sind.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator mit variabler Leitfähigkeit zu schaffen, dessen Qualität verbessert ist, bei dem die Nichtlinearität zwischen dem Modulationseingangssignal und dem modulierten Ausgangssignal verringert und die Trägerdurchführung verringert ist.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebene Lehre gelöst. Weiterbildungen dieser Lehre sind in den Unteransprüchen angegeben.

Anhand der Zeichnung soll die Erfindung und ihre Prinzipien an Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Fig. 1 ist ein Blockschaltbild eines allgemein bekannten Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit.

Fig. 2 ist ein Blockschaltbild und zeigt Einzelheiten des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers des Modulators gemäß Fig. 1.

Fig. 3 ist ein Blockschaltbild eines Teils eines allgemein bekannten Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit und verdeutlicht eine andere Anordnung einer Feststromquelle und eines Stromfeststellwiderstandes.

Fig. 4 ist ein Schaltbild einer integrierten Schaltung des linearen Vier-Quadranten-Vervielfachers Motorola MC1595L und zeigt entsprechende Teile des Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit gemäß Fig. 1.

Fig. 5 ist ein Blockschaltbild eines Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit gemäß einer zweckmäßigen Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 6 ist ein Schaltbild und zeigt die Einzelheiten der

Gegenkopplungsschaltung der Fig. 5 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 7 ist ein Schaltbild mit Einzelheiten des Ausgangsverstärkers von Fig. 5 gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, und

Fig. 8 ist ein Schaltbild einer praktischen Schaltung des Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung.

Es wird nun Bezug genommen auf Einzelheiten der vorliegenden, bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung, von denen Beispiele in den Zeichnungen dargestellt sind.

In den Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder sich entsprechende Teile über die verschiedenen Zeichnungen hinweg. In Fig. 5 ist ein Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator 50 in einem Blockschaltbild als bevorzugte Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Wie in Fig. 5 gezeigt, weist ein verbesserter Gegentakmodulator 50 den grundlegenden Vier-Quadranten-Gilbert-Modulator 10 mit variabler Leitfähigkeit gemäß Fig. 1 und der vorherigen Diskussion auf, mit einer Gegenkopplungsschaltung 51 und Ausgangsverstärker 52 zur jeweiligen Verringerung unerwünschter Nichtlinearität und Trägerdurchführung des Modulators 10.

Wie bereits oben diskutiert, steuert das Eingangssignal an Eingang 17 den differentiellen Ausgangsstrom vom Verstärker 14, der an Ausgang 19 erscheint und in eine Schaltung 16 mit variabler Leitfähigkeit eingespeist wird. Die Variation in diesem differentiellen Ausgangsstrom steuert die Verstärkung von dem Trägereingang zu dem Ausgang der Schaltung 16 mit variabler Leitfähigkeit zur Erzeugung des modulierten Ausgangssignals. Zur Verbesserung der Linearität des differentiellen Ausgangsstromes von Verstärker 14 in bezug zu der Modulationseingangsspannung und somit zur Verbesserung der Linearität des modulierten Ausgangssignales in bezug zu der Modulationseingangsspannung ist Gegenkopplungsschaltung 51 zu dem Modulator 10 gemäß Fig. 5 hinzugefügt.

Gegenkopplungsschaltung 51 weist einen Modulationseingang 53 zur Einspeisung des Modulationseingangsspannungssignales $A(t)$ sowie einen Modulationsausgang 54 auf, der mit dem Eingang 17 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14 verbunden ist, um das Modulationsspannungssignal zu dem Verstärker 14 zu führen, und Gegenkopplungseingang 55 weist zwei Klemmen auf, die an den Stromfeststellwiderstand R_1 angeschlossen sind. Gegenkopplungsschaltung 51 bewirkt, daß die Spannung an Stromfeststellwiderstand R_1 der Spannung des Modulationseingangsspannungssignales am Modulationseingang 53 folgt und in den Eingang 17 des Verstärkers 14 eingespeist wird. Diese Gegenkopplung von dem Stromfeststellwiderstand R_1 bewirkt somit, daß der Strom durch Widerstand R_1 direkt proportional der Modulationseingangsspannung ist, die wiederum bewirkt, daß der differentielle Ausgangsstrom des Verstärkers 14 direkt proportional dem Spannungssignal an seinem Eingang 17 ist. Diese Gegenkopplung bewirkt eine merkliche Verbesserung der Linearität des modulierten Ausgangssignals an Ausgang 13 in bezug zu dem Modulationseingangsspannungssignal für den Modulator 50.

Eine spezielle Ausführungsform der Schaltung in der Gegenkopplungsschaltung 51 ist in Fig. 6 gezeigt. Wie aus Fig. 6 ersichtlich, werden zwei Operationsverstärker 60, 61 verwendet mit einer Gegenkopplung, die von

dem Stromfeststellwiderstand R_1 (in Fig. 6 nicht gezeigt) abgenommen wird. Im einzelnen ist der nichtinvertierende Eingang 62 des Operationsverstärkers mit einer Klemme des Modulationseinganges 53 und der invertierende Eingang 63 mit einem Ende des Stromfeststellwiderstandes R_1 verbunden. Ausgang 64 des Operationsverstärkers 60 ist mit einer Klemme des Eingangs 17 des Differential-Leitfähigkeitsverstärkers 14 (in Fig. 6 nicht gezeigt) verbunden. In gleicher Weise ist der zweite Operationsverstärker 61 mit seinem invertierenden Eingang 65 mit der anderen Klemme des Modulationseinganges 53 und mit seinem invertierenden Eingang 66 mit dem anderen Ende des Stromfeststellwiderstandes R_1 verbunden. Ausgang 67 von Operationsverstärker 61 ist mit der anderen Klemme des Eingangs 17 von Verstärker 14 verbunden. Wie aus Fig. 6 ersichtlich, bilden die Ausgänge 64, 67 der beiden Operationsverstärker 60, 61 einen Modulationsausgang 54, der Gegenkopplungsschaltung 51. Die nichtinvertierenden Eingänge 62, 65 der beiden Operationsverstärker sind Modulationseingang 53 von Gegenkopplungsschaltung 51, und die invertierenden Eingänge 63, 66 der beiden Operationsverstärker sind Gegenkopplungsausgang 55 der Gegenkopplungsschaltung.

Die Gegenkopplungsschaltung bewirkt, daß die Spannung an einem Ende des Stromfeststellwiderstandes R_1 der Spannung an einer Klemme des Modulationseinganges und die Spannung an dem anderen Ende von R_1 der Spannung an der anderen Klemme des Modulationseinganges folgt. Bei der Konfiguration gemäß Fig. 6 beispielsweise zwingt die Gegenkopplungsschaltung die Spannung an Eingang 63 (das ist ein Ende des Stromfeststellwiderstandes R_1), daß sie der Spannung an Eingang 62 folgt (das bedeutet eine Klemme von Modulationseingang 53). In gleicher Weise wird die Spannung an Eingang 66 der Spannung an Eingang 65 folgen. Gewünschtenfalls kann eine Klemme des Modulationseinganges geerdet sein, was dazu führt, daß die Spannung an einem Ende von R_1 auf Null geht. Mit der Gegenkopplungsschaltung wird in der gewünschten Weise die Spannung über Stromfeststellwiderstand R_1 dazu gezwungen, der Spannung des Modulationseingangsspannungssignales zu folgen. Für einen Fachmann ist es aufgrund dieser Beschreibung klar, daß eine zusätzliche Schaltung mit Stromversorgung erforderlich ist, um die gewünschte Funktion der Gegenkopplungsschaltung zu bewirken. Eine praktische Schaltung ist im einzelnen nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 8 beschrieben.

Die oben genannte Gegenkopplungsschaltung bewirkt die gewünschte Linearitätsverbesserung. Um die unerwünschte Trägerdurchführung von Modulator 10 zu verringern, ist Ausgangsverstärker 52 mit dem Modulatoreingang 13 verbunden, wie das in dem verbesserten Gegentakmodulator 50 in Fig. 5 gezeigt ist. Ausgangsverstärker 52 bewirkt eine verbesserte Trennung zwischen dem Trägereingangssignal, gesehen von dem Modulator 10 selbst, und vergrößert dadurch die Trägerbandbreite der Schaltung und verringert die unerwünschte kapazitive Kopplung, die außerhalb der Schaltung des Modulators 10 selbst existiert.

Eine bevorzugte Ausführungsform von Verstärker 52 ist in Fig. 7 gezeigt. Verstärker 52 weist einen Eingang 70 und einen Ausgang 71 sowie ein Paar von angepaßten JFETs 72, 73 auf. Die Gatter der JFETs sind geerdet. Die Source von JFET 72 bildet eine Klemme des Eingangs 70 des Trennverstärkers und ist mit einer Klemme des Modulatorausgangs 13 verbunden. Die Drain

von diesem JFET bildet eine Klemme des Ausgangs 71 von Verstärker 52. In gleicher Weise bildet die Source von JFET 72 die andere Klemme von Eingang 70, der mit der anderen Klemme des Modulationsausganges 13 verbunden ist, und die Drain von diesem JFET bildet die andere Klemme von Ausgang 71 von Ausgangsverstärker 52. Die notwendige Arbeitsspannung für die Gatter der JFETs liefert Klemme 74. Das modulierte Ausgangssignal mit verbesserter Trägerunterdrückung wird von dem verbesserten Gegentaktmodulator 50 an Verstärker-
 5
 10

gekehrt werden.

Eine praktische Schaltung, die beide zuvor genannten Verbesserungen aufweist, ist in Fig. 8 gezeigt. Die Schaltung verwendet den Motorola MC1595L Chip, der oben diskutiert worden und in Fig. 8 mit der Bezugsziffer 80 bezeichnet worden ist. Die Gegenkopplungsschaltung ist als Operationsverstärkerschalter 81 gezeigt, die Operationsverstärker 60, 61 und zugehörige Schaltelemente R_2 bis R_{10} , R_{27} , C_1 bis C_6 , C_{21} und C_{22} zusammen mit Stromfeststellwiderstand R_1 aufweist, angeschlossen an den "X"-Eingang von Chip 80. Ausgangsverstärkerschaltung 82 verwendet zwei dual angepaßte JFETs 72, 73, die zwischen den "Z"-Ausgängen von Chip 80 und einem Ausgangstransformator T_2 liegen. Der Trägereingang ist mit dem "Y"-Eingang von Chip 80 über den mittelangezapften Transformator T_1 gekoppelt.
 15
 20
 25

Zusätzlich zu den wohlbekannten Schaltelementen, die zur Speisung und Steuerung von Chip 80, Operationsverstärker 60, 61 und JFETs 72, 73 erforderlich sind, weist die praktische Schaltung in Fig. 8 Kondensatoren C_{17} und C_{20} an Ausgang 71 des Ausgangsverstärkers auf, um die Balancierung der Schaltung bei hohen Frequenzen zu unterstützen. Kondensatoren C_{10} und C_{19} sind hinzugefügt, um den Frequenzgang von Chip 80 von dem Träger-("Y")-Eingang zu dem Chipausgang ("Z") zu glätten. Potentiometer R_{27} und R_{29} dienen zur Einstellung der Gleichspannungsbalance. R_{27} ist zweckmäßig zur Einstellung der Trägerunterdrückung, so daß dann, wenn das Modulationseingangssignal Null ist, das Ausgangssignal bei Trägerfrequenz auf Null einstellbar ist. R_{29} dient zur Einstellung der Unterdrückung des Modulationsanteils im Ausgangssignal. Potentiometer R_{28} dient zur Einstellung der Verstärkung von Chip 80 in der normalen Weise.
 30
 35
 40
 45

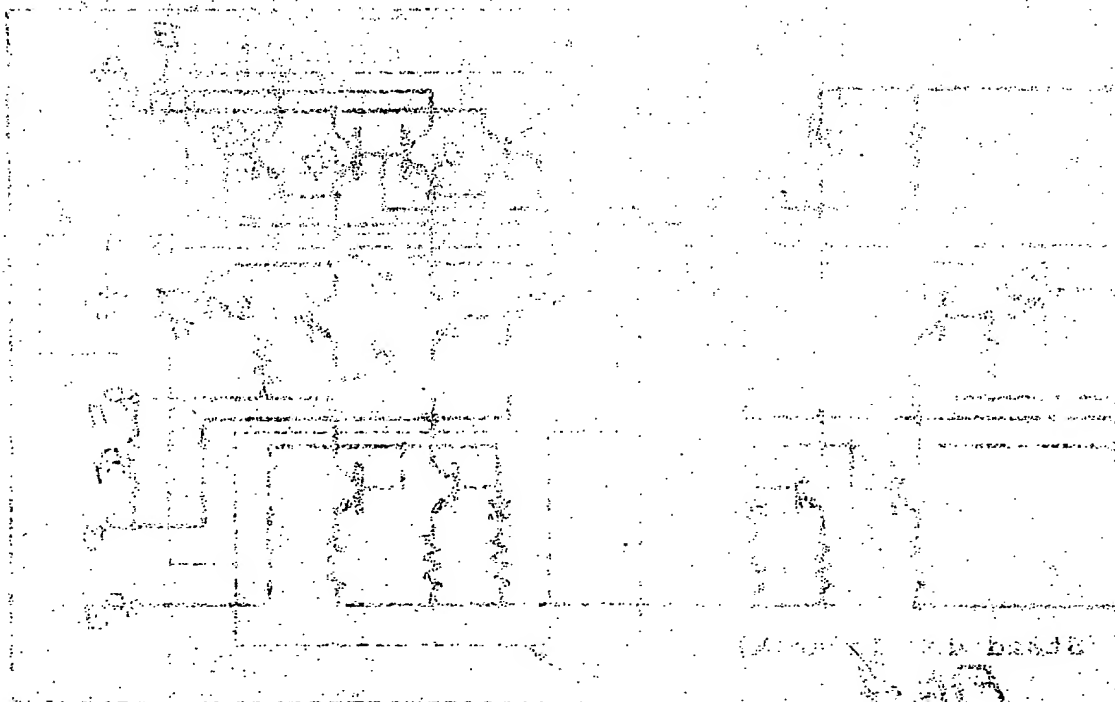
Bezüglich der Werte der Bauteile der oben kurz diskutierten praktischen Schaltung ist ein Fachmann ohne weiteres in der Lage, sie auszuwählen und den verbesserten Gegentaktmodulator einzustellen, indem er die Information in dieser Beschreibung und die hinsichtlich des Chips 80 hinzunimmt, die aus der Gebrauchsanweisung hierfür zu entnehmen ist.
 50

Die oben beschriebene praktische Schaltung liefert eine verbesserte Güte über den Stand der Technik der Vier-Quadranten-Gilbert-Modulatoren mit variabler Leitfähigkeit, sowohl hinsichtlich der Linearität als auch hinsichtlich der Trägerunterdrückung.
 55

Es ist für jeden Fachmann offensichtlich, daß verschiedene Änderungen und Abwandlungen des Vier-Quadranten-Gilbert-Modulators mit variabler Leitfähigkeit gemäß der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden können, ohne daß von dem Grundgedanken der vorliegenden Erfindung abgewichen wird. Z. B. kann die Gegenkopplungsschaltung an beiden "X"- und "Y"-Eingängen eines Vier-Quadranten-Gilbert-Vervielfachers verwendet werden, um die Linearitätsgüte des Vervielfachers zu verbessern. Darüber hinaus können die Eingänge für Modulationseingang und Trägereingang um-
 60
 65

- Leerseite -

000000 100



3742537

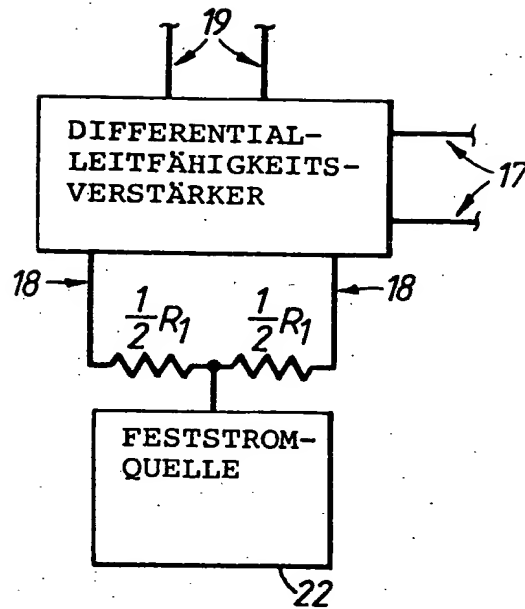
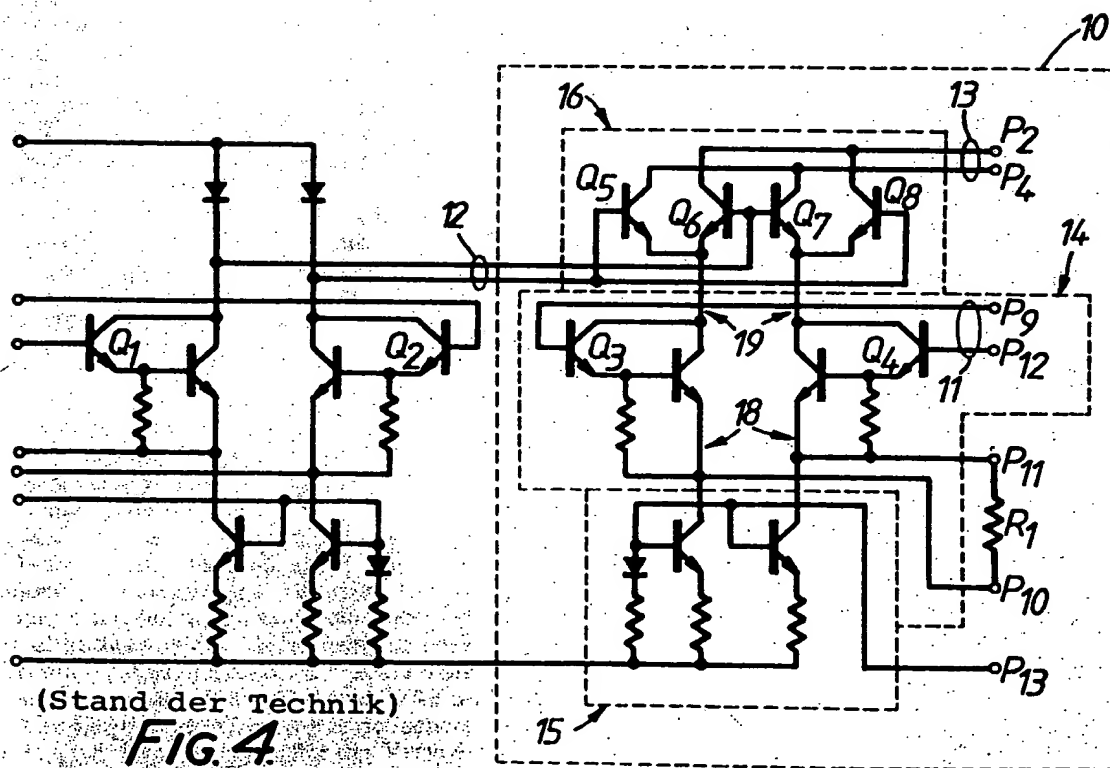


FIG. 3.

(Stand der Technik)



(Stand der Technik)

FIG. 4.

3742537

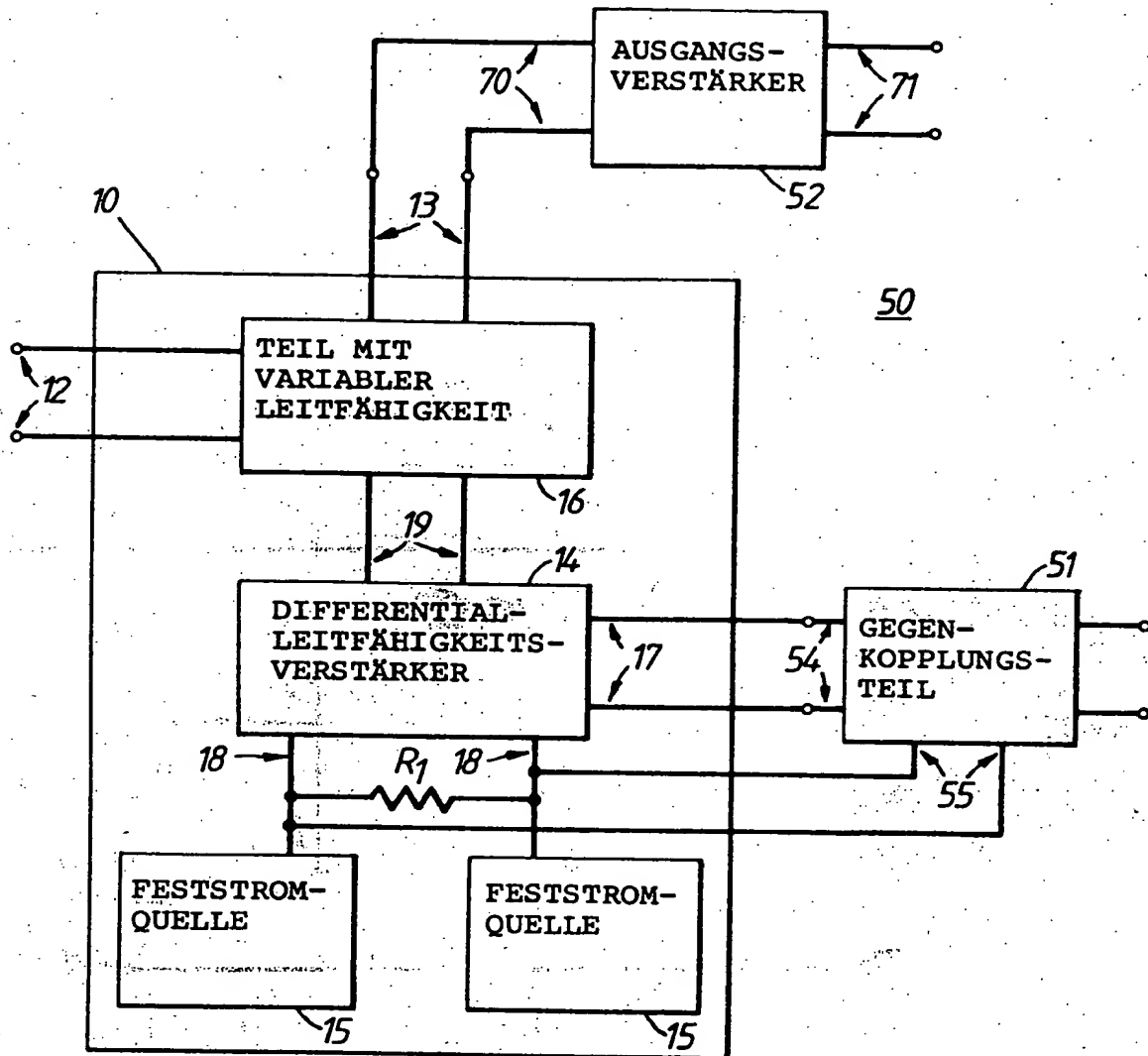


FIG. 5.

3742537

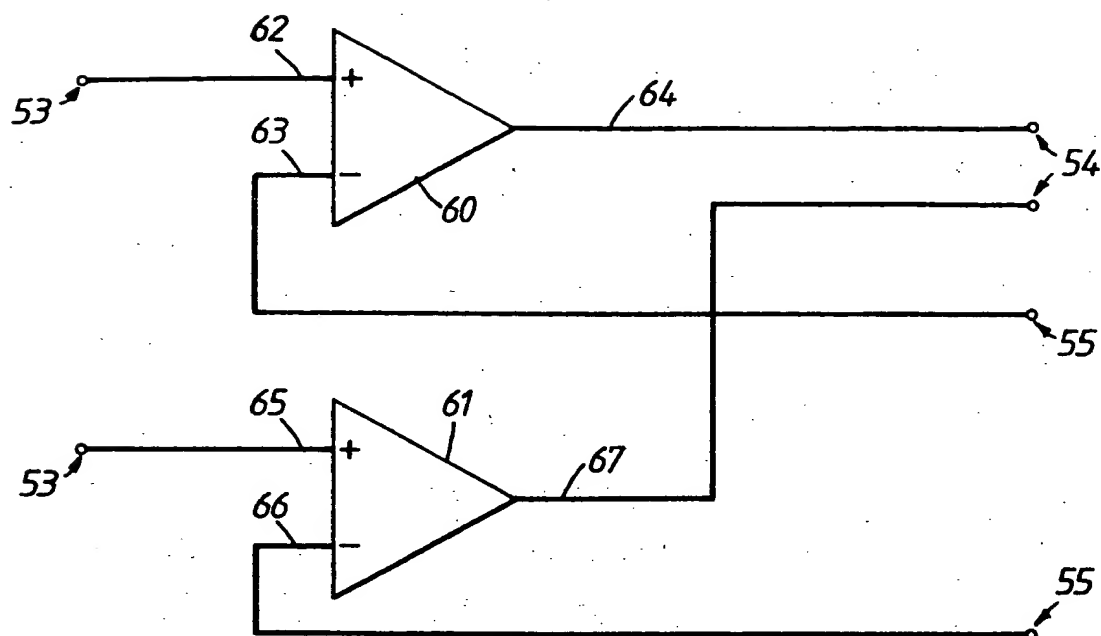


FIG. 6.

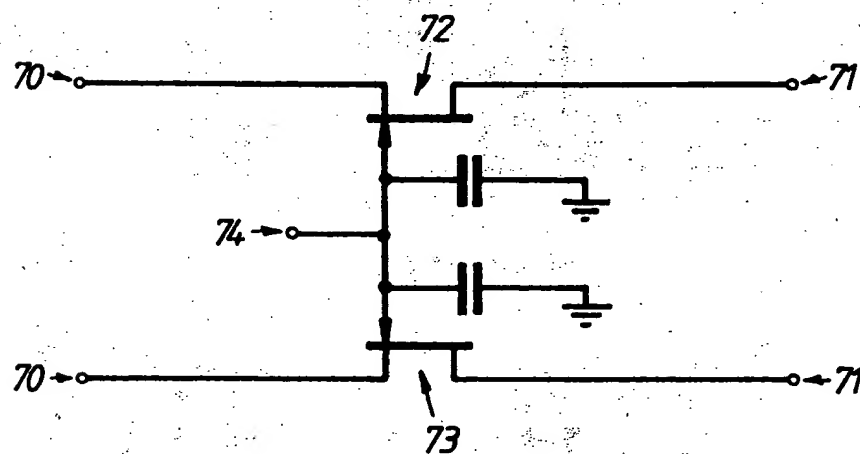
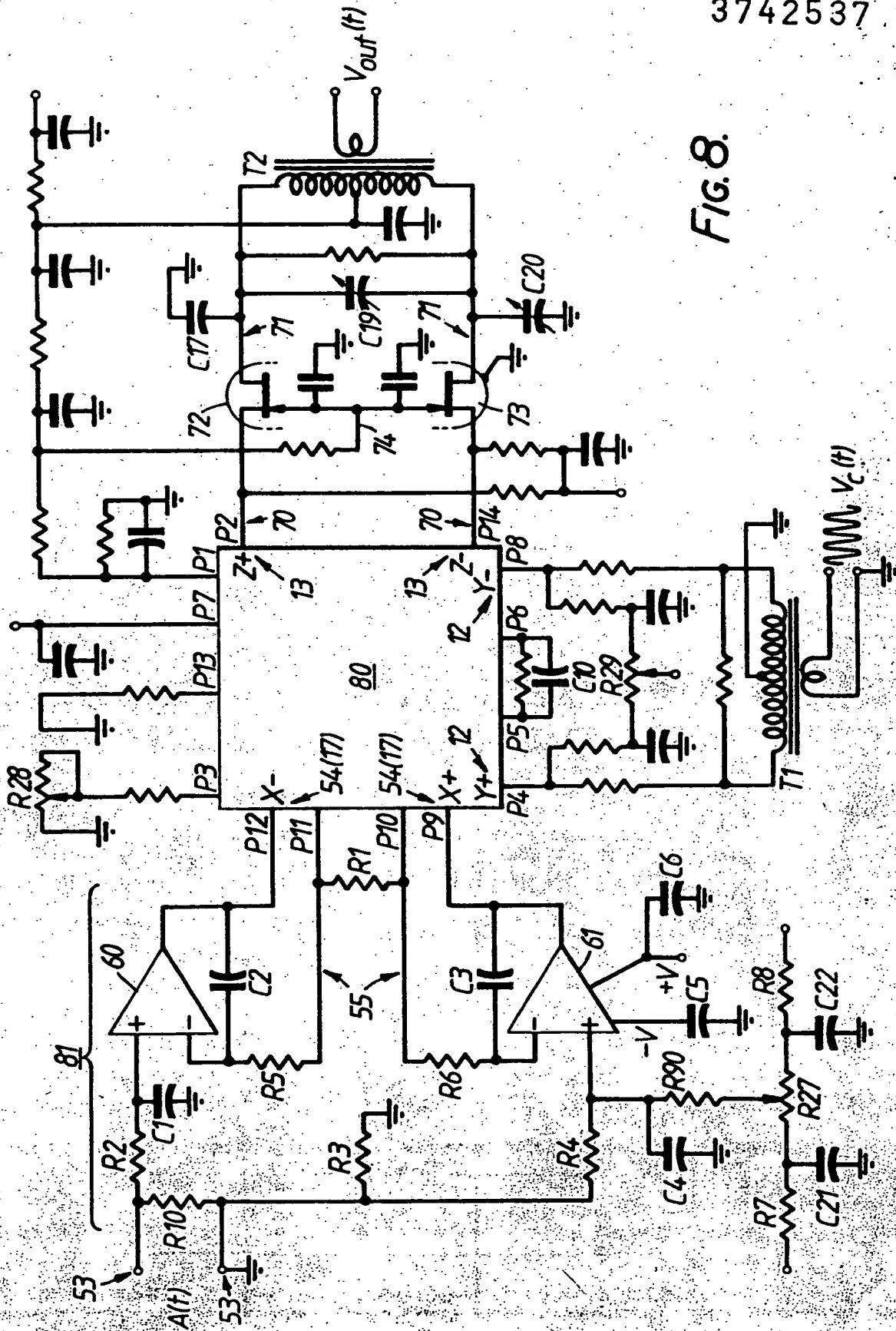


FIG. 7.

3742537

FIG. 8.



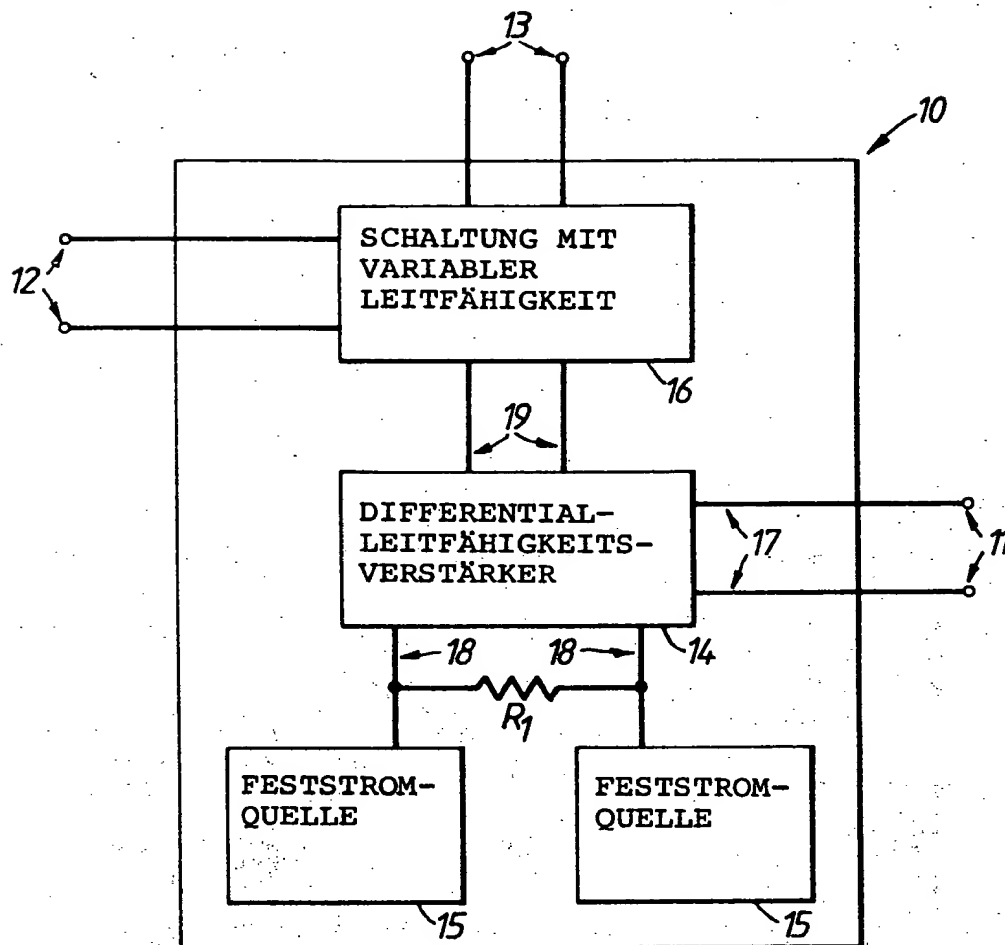
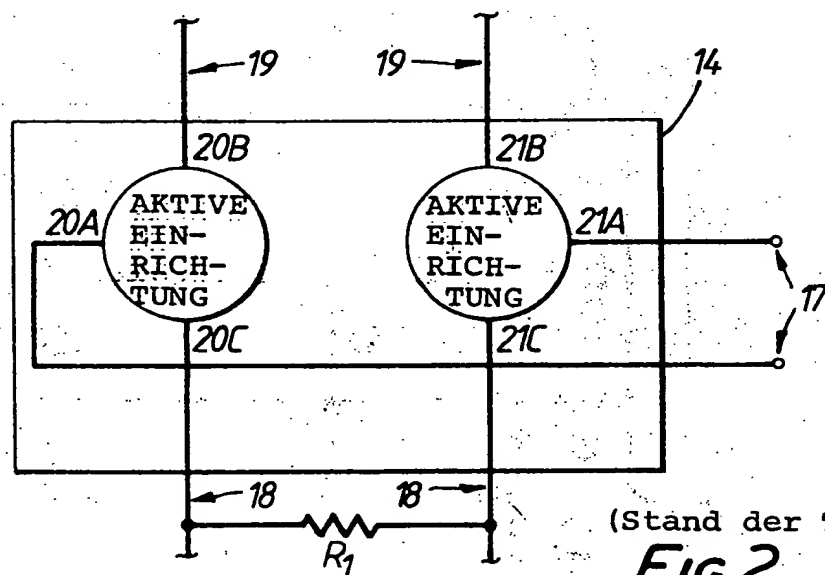


Fig. 1. (Stand der Technik)



(Stand der Technik)

Fig. 2.

Docket # P2000, 0150
 Appic. # Michael Asam
 Applicant: Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
 Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101